**קשיות החומר.**

**שאלה 18.** **2010 911**

בטבלה שלהלן מוצגים ערכי קשיות של חומרים בשלוש סקלות שונות: רוקוול c , רוקוול b וברינל:

| רוקוול c (HRc) | רוקוול b (HRb) | ברינל (BHN) |
|---|---|---|
| | | 86 |
| | 62 | 105 |
| | 75 | 133 |
| | 85 | 162 |
| | 92 | 190 |
| | 97 | 219 |
| 23 | | 242 |
| 27 | | 266 |

**א.** מדוע קיימות סקלות קשיות שונות?

**ב.** אופן הקריאה (מדידה) של התוצאות המתקבלות מבדיקת קשיות בשיטת רוקוול, שונה מאופן הקריאה של התוצאות המתקבלות בשיטות ברינל וויקרס. מהו השוני בין שני אופני הקריאה ובאיזה מהם התוצאות מדויקות יותר? נמק את תשובתך.

**ג.** מחלקת הנדסה במפעל נדרשה לזהות פלדה מקבוצת "פלדות פחמן", שהגיעה למפעל ללא תעודה מזהה.

לצורך הזיהוי נלקח דגם מהפלדה, ונמדדה קשיותו בסקלת רוקוול b . ממוצע המדידות היה: $HRb = 92$ .

עבור פלדות פחמן ידוע הקשר:

$$3.6 \times (BHN) = \sigma_{UTS} \ \ MPa$$

הסתמך על הערך של $\sigma_{UTS}$ המתקבל עבור הפלדה שנבדקה, וקבע מהו הכינוי של הפלדה לפי תקן אמריקאי. (היעזר בנספח ו' – תכונות של פלדות.)

**חוזק החומר לנגיפה. ניסוי נגיפה.**

**שאלה 19**

**א.** בניסוי נגיפה, אנרגיית הנגיפה, E , של הדגם הנבדק תלויה במשקל הפטיש, G , ובגבהים, $H_1$ ו־$H_2$ , באופן הבא:

$$E = G\,(H_1 - H_2)$$

1. מה מבטא הגובה $H_1$ ומה מבטא הגובה $H_2$ ?
2. האם החומר שממנו עשוי פגוש ברכב צריך להיות בעל אנרגיית נגיפה גבוהה או נמוכה? נמק את תשובתך.

**ב.** בטבלה שלהלן מוצגים ערכים של אנרגיית שבר ממבחן נגיפה לפלדה על־פי שרפי (Charpy) . המבחן בוצע בטווח הטמפרטורות שבין 75 °C– ועד 50 °C+ .

| **טמפרטורה, °C** | –75 | –28 | –25 | –22 | +50 |
|---|---|---|---|---|---|
| **אנרגיית השבר, Joul** | 6 | 8 | 12 | 14 | 17 |

הצג במחברתך גרף המתאר את אנרגיית הנגיפה כפונקציה של הטמפרטורה וקבע את טמפרטורת המעבר "פריך־משיך".

**ג.** שני דגמים העשויים מן הפלדה SAE 1050 עברו טיפולים תרמיים. אחד הדגמים עבר חיסום במים והאחר עבר חיסום והרפיה. לאחר הטיפולים התרמיים בוצעו מבחני נגיפה לשני הדגמים.

כתוצאה מהטיפולים התרמיים התקבלו שני מבני חומר – סורביט ומרטנסיט, ובמבחני הנגיפה נמדדו שתי אנרגיות שבר – 5 Joul ו־78 Joul .

העתק למחברתך את הטבלה שלהלן, והתאם את השמות של מבני החומר ואת הערכים של אנרגיות השבר לטיפולים התרמיים.

| **טיפולים תרמיים** | **אנרגיית שבר (Joul)** | **מבנה החומר** |
|---|---|---|
| חיסום במים | | |
| חיסום והרפיה | | |

נמק את ההתאמות בין מבני החומר לאנרגיות השבר.

## שאלה 20

**א.** מהי המטרה של בדיקת נגיפה?

**ב.** ניתוח תוצאות של בדיקת נגיפה הראה שלאחר שבירת דגם מחומר א׳, המשיך פטיש־המטוטלת לנוע לגובה h . לאחר שבירת דגם מחומר ב׳, המשיך פטיש המטוטלת לגובה קטן מ־h .

איזה מבין החומרים א׳ ו־ב׳ מתאים יותר לשמש כפגוש במכונית? נמק את תשובתך בהתבסס על הקשר הבא:

$$E = G\left(h_0 - h\right)$$

E — אנרגיית הנגיפה

G — משקל פטיש־המטוטלת

$h_0$ — הגובה של פטיש־המטוטלת לפני הבדיקה. (זהה בשני המקרים.)

h — הגובה שאליו מתרומם פטיש־המטוטלת לאחר הבדיקה.

**ג.** צייר שלוש עקומות מאמץ־מעוות סכימתיות (על אותם צירים), המתארות חומר מתכתי, חומר קרמי וחומר פולימרי.

**ד.** נתונה רשימת חומרים:

אלומינה $\left(Al_2O_3\right)$, פוליסטרן (PS), אלומיניום (Al), מגנזיה (MgO), פוליוינילכלוריד (PVC), טונגסטן (W) .

מיין את החומרים שברשימה והצג אותם בטבלה על־פי השתייכותם לכל אחת מקבוצות החומרים הבאות:

**חומרים מתכתיים, חומרים קרמיים, חומרים פולימריים.**

## שאלה 21

בטבלה לשאלה 9 מוצגים ערכי התכונות המכניות של שני דגמים העשויים מפלדה SAE 1025 (דגם א' ודגם ב'). אחד הדגמים עבר ערגול קר, והאחר עבר ערגול חם.

| תכונה / דגם | ε (%) מעוות | $\sigma_{UTS}$ (MPa) מאמץ הרס | $\sigma_y$ (MPa) מאמץ כניעה |
|---|---|---|---|
| א' | 15 | 440 | 370 |
| ב' | 25 | 400 | 220 |

**א.** הצג גרף, של מאמץ (σ) כתלות במעוות (ε) , בהתאם לנתוני התכונות של שני הדגמים המוצגים בטבלה. הנח שהמעוות בתחום האלסטי הוא בשיעור של 1% בשני הדגמים.

**ג.** דגם ב' עשוי מחומר עמיד יותר בנגיפה מאשר דגם א', כי מתקבל שטח גדול יותר מתחת לעקומת המאמץ־מעוות שלו.
השטח שמתחת לעקומה ניתן לתרגום לערכי אנרגיה, ובהתאם לכך, אנרגיה גדולה יותר משמעותה – יכולת לספיגת אנרגיית שבר גדולה יותר.

**שאלה 22** **2015**

בטבלה שלהלן מוצגות התכונות המכניות של שתי הפלדות: SAE 3120 ו־SAE 3310 :

| **שם הפלדה** | $\sigma_y$[MPa] | $\varepsilon_y$[%] | $\sigma_{UTS}$[MPa] | $\varepsilon_{UTS}$[%] | HRc |
|---|---|---|---|---|---|
| SAE 3120 | 735 | 0.9 | 970 | 15 | 30 |
| SAE 3310 | 1,030 | 0.9 | 1,245 | 15 | 30 |

**א.** סרטט על אותה מערכת צירים, שני גרפים של מאמץ ($\sigma$) כתלות בעיבור ($\varepsilon$) עבור שתי הפלדות.

**ב.** קבע לאיזו משתי הפלדות דרושה אנרגיה גדולה יותר לשבירתה. היעזר לקביעתך בגרפים שסרטטת בתשובתך לסעיף א' ונמק את קביעתך.

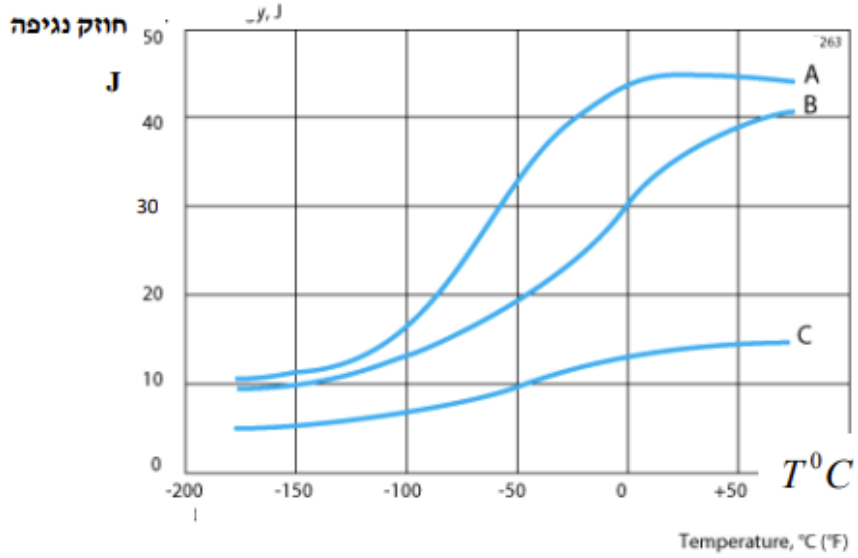
**ג.** עליך לתכנן מוט בקוטר 11 mm שצריך לעמוד בכוח מתיחה חד־צירי של 76 kN .

קבע אם שתי הפלדות מתאימות לשמש כחומר גלם למוט, רק אחת מהפלדות או אף לא אחת מהן.
נמק את תשובתך באמצעות חישוב.

**ד.** מהו הטיפול התרמי המאפשר לקבל קשיות בשיעור של 60 HRc , לעומק של 0.1 mm , בפני השטח של מוט העשוי מפלדה SAE 1030 ?

## שאלה 23

באיור לשאלה 7 מוצגות עקומות נגיפה – טמפרטורה של שלוש פלדות. עיינו בגרפים וענו על השאלות הבאות:




**איור לשאלה 7**

**(13 נק')** **א.** הוצע להשתמש באחת מהפלדות ( A, B או C) לשם ייצור חלקי מכונה הנמצאים בטמפרטורות מ- $-50^0C$ עד $+20^0C$. החלקים אמורים לעמוד בתנאי עבודה של כוחות פתאומיים.

כמו כן חוזק הנגיפה הדרוש יהיה לא קטן מ- 30J.

בחרו פלדה (או פלדות) שמתאימה (או מתאימות) לתנאי עבודה הנ"ל.

יש להציג את הנימוקים לתשובה בתרשים על גבי העקומות שבאיור לשאלה 7.

**תשובה:**

| |
|---|
| |
| |

**(6 נק')** **ב.** מהו סוג הסריג הגבישי של החומרים הנבדקים? נמקו את תשובתכם.

**תשובה ונימוק:**

| |
|---|
| |
| |

**(6 נק')** **ג.** סמנו את התשובה או את התשובות הנכונות:

**חומר פריך:**

1. עמיד בפני כוחות פתאומיים.
2. אינו עמיד בפני כוחות פתאומיים.
3. בעל התארכות גדולה יחסית.
4. בעל התארכות קטנה יחסית.
5. בעל חוזק נגיפה גבוה.
6. בעל חוזק נגיפה נמוך.

**תופעת התעייפות החומר**

**שאלה 24**

**ב.** שבר במוט גלילי עלול להיווצר באחד מן האופנים האלה:

- מסדק במרכז המוט המתפשט אל שטח פני המוט.
- מסדק על פני המוט המתפשט אל מרכז המוט.

באיזה אופן מבין השניים, נוצר שבר "התעייפות"?
צייר חתך ערב (ניצב לציר) של מוט גלילי והראה עליו את שלושת האזורים המאפיינים שבר "התעייפות": אזור תחילת השבר, אזור התקדמות השבר ואזור השבר.

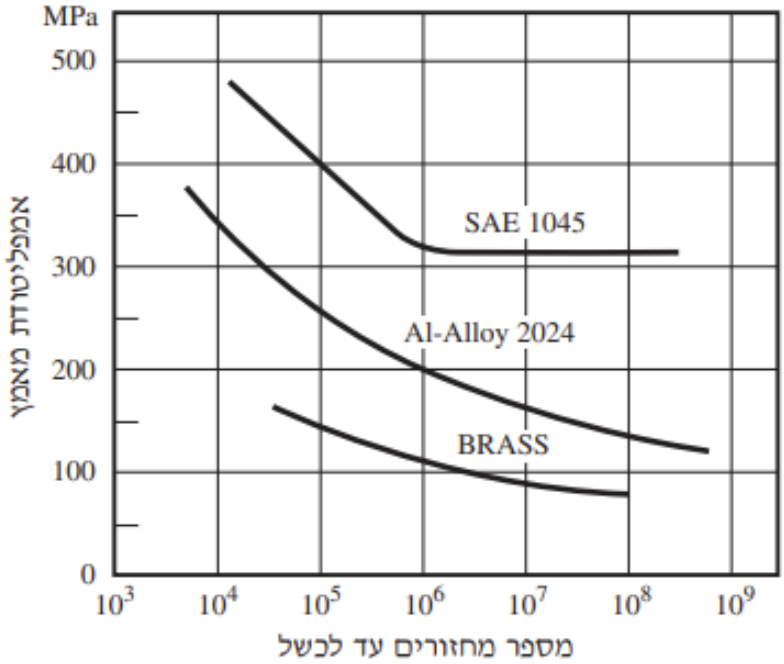
**ג.** 1. בנה מערכת צירים המתארת מאמץ מחזורי כתלות במספר מחזורים לכשל וסמן את הצירים באותיות המתאימות.
הצג על מערכת הצירים עקום המתאר כשל של פלדה עקב "התעייפות".

2. סמן בגרף את אזור "גבול ההתעייפות", והסבר מהי המשמעות ההנדסית של אזור זה.

**שאלה 25** **911** **2015**

באיור לשאלה 9 מוצגות עקומות התעייפות של שלוש המתכות האלה:

פלדה (SAE 1045) , נתך אלומיניום (Al–Alloy 2024) , פליז (Brass) .




**איור לשאלה 9**

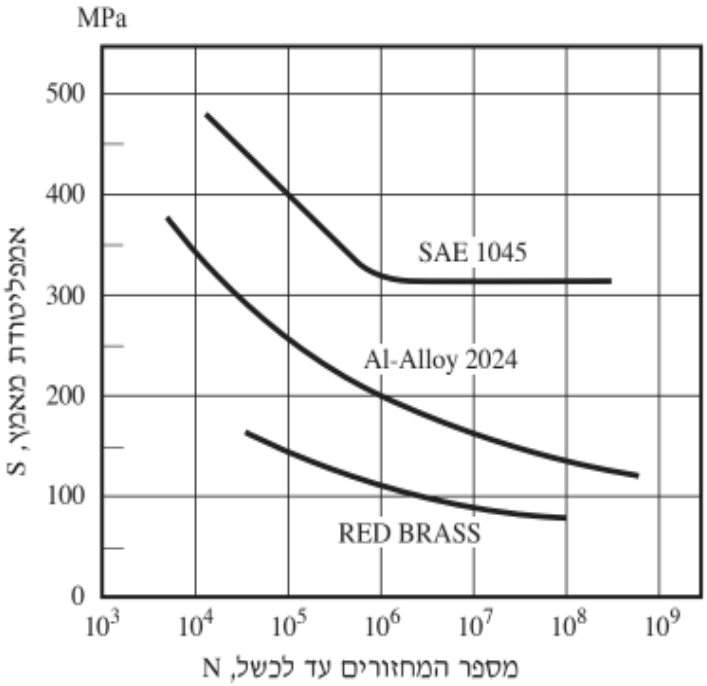
**א.** מהו מספר המחזורים המרבי עד לכשל עבור כל אחת משלוש המתכות המוצגות באיור, באמפליטודה של מאמץ התעייפות בשיעור של 150 MPa ?

**ב.** הסבר מהי המשמעות של המונח "גבול ההתעייפות".

**ג.** מחלקת הנדסה מבקשת לתכנן חלק שצורתו מוט גלילי מפלדה SAE 1045 , המיועד לעבוד בתנאים של מאמצי התעייפות. חשב מהו קוטרו המזערי (המינימלי) של המוט שיבטיח שלא יתרחש בו כשל התעייפות כתוצאה מכוח מחזורי בשיעור של 87,500 N .
(היעזר באיור לשאלה 9).

**שאלה 26** **2021** **911**

באיור לשאלה זו מוצגות עקומות ההתעייפות של שלושה סוגי מתכות: פלדת SAE 1045 , סגסוגת אלומיניום AL 2024 ופליז (RED BRASS)




**איור לשאלה 9**

**(6 נק')** **א.** קבע, על־פי עקומות ההתעייפות המוצגות באיור, מהו מספר המחזורים המרבי עד לכשל עבור כל אחד משלושת סוגי המתכות, באמפליטודת מאמץ של S = 350 MPa .

**(8 נק')** **ב.** נתון מוט גלילי בקוטר 30 mm העשוי מסגסוגת אלומיניום AL 2024 , המיועד לפעול בתנאים של מאמצי התעייפות. אמפליטודת המאמץ של המוט היא 100 MPa . היעזר באיור לשאלה זו, וחשב את כוח המתיחה המחזורי המרבי שניתן להפעיל על המוט.

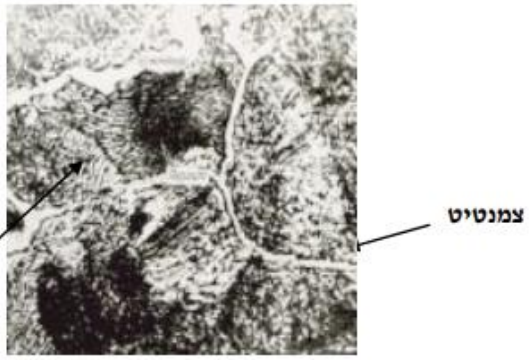
**(6 נק')** **ג.** הוחלט לקדוח חריץ בקוטר 2 mm במרכזו של המוט המתואר בסעיף ב'. כיצד תשפיע פעולה זו על מספר המחזורים של המוט, עד לכשל שלו?

## שאלה 27

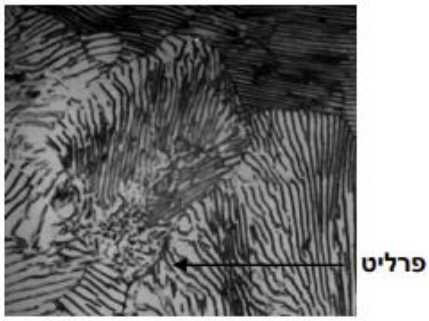
1. באיזו מהפלדות כמות הפחמן גדולה יותר? נמק. (4 נק')

2. איזו מהפלדות פלסטית יותר? נמק. (4 נק')

3. באיזו מהפלדות קיימת נקודת Acm ומה משמעותה? (4 נק')




פלדה 2




פלדה 1

**ב.** השתמש בנספח לשאלה 8 סעיף ב' וענה:

מהו מבנה של פלדה SAE 1040. לאחר חימום לטמפרטורה $840^\circ$ וקירור איטי בתנור סגור וכבוי? **(7 נק')**

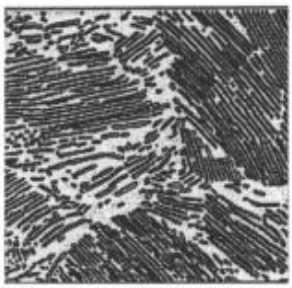
| |
|---|
| |
| |
| |

**ג.** מדוע בדיאגרמה "ברזל פחמן" לא מופיע מבנה (פאזה) מרטנסיט? **(6 נק')**

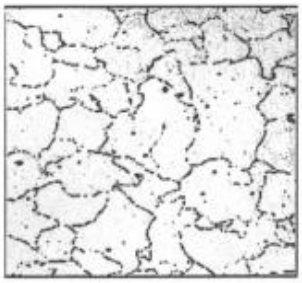
| |
|---|
| |
| |
| |

## שאלה 28

**א.** באיור לשאלה 9 מוצגות שלוש תמונות (1–3) , המתארות מיקרו־מבנה של פלדות שונות. רשום במחברתך את מספרה של כל תמונה ולצידו את שם המיקרו־מבנה המתאים: פריט, פריט + פרליט, פרליט.



1



2

3

**ב.** היעזר בנספח ד' וקבע:

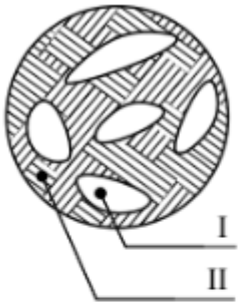
1. מהי המסיסות המרבית (המקסימלית) של פחמן בפאזה "פריט"?
2. מהי המסיסות המרבית (המקסימלית) של פחמן בפאזה "אוסטניט"?

**ג.** היעזר בנספח ד' וענה:

1. מהי טמפרטורת ההיתוך של הפאזה האוטקטית "לדבוריט"?
2. מהו תחום אחוזי הפחמן המגדירים את יצקות הברזל?

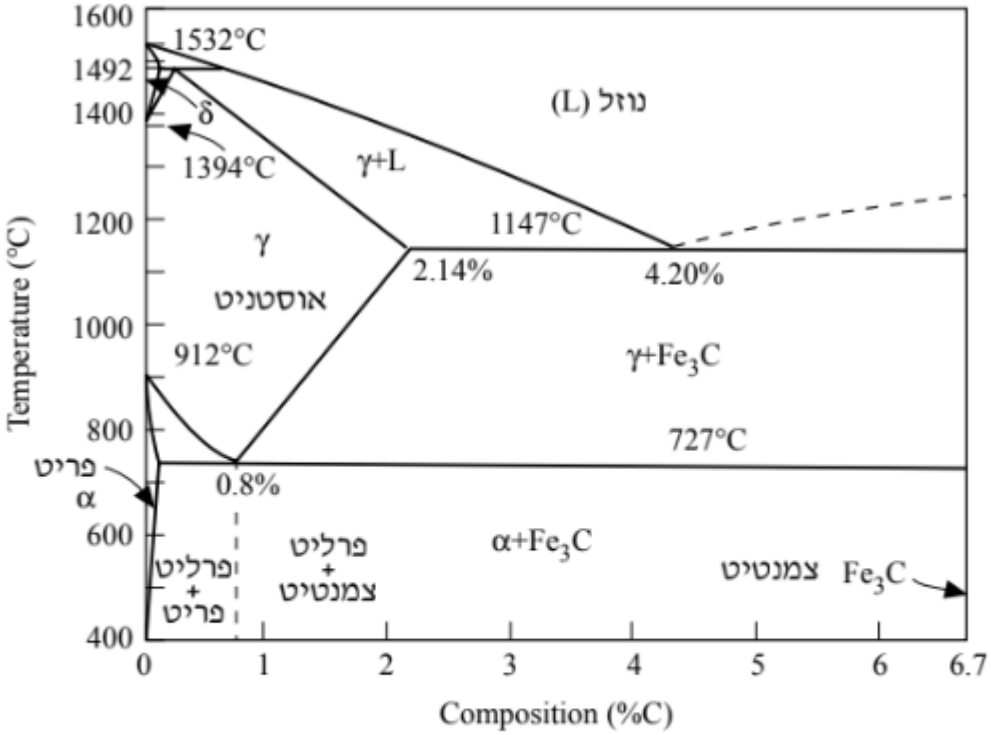
## שאלה 29

**א.** באיור א' לשאלה 8 נתונה תמונה סכמתית של המבנה המטלוגרפי של הפלדה SAE 1040 . רשום במחברתך את השמות של מרכיבי המבנה המטלוגרפי המסומנים באיור ( I ו־II ).




**איור א' לשאלה 8**

**ב.** היעזר באיור ב' לשאלה וקבע את טמפרטורת החיסום המומלצת ואת תחום הטמפרטורות המומלץ לטיפול הרפיה לפלדה אוטקטואידית (0.8%C) .




**איור ב' לשאלה 8**

**טיפולים תרמיים של פלדה.**

**חיסום**

**שאלה 30**

א. הגדר מהם מעברים אלוטרופיים. הצג דוגמאות למעברים אלוטרופיים מדיאגרמת הפאזות ברזל-פחמן.

ב. הגדר את המושגים "מעבר פאזות אוטקטי" ו - "מעבר פאזות אוטקטואידי". הצג דוגמאות למושגים אלו מדיאגרמת ברזל-פחמן.

ג. בצילום של דגם מטלוגרפי שבוצע באמצעות מיקרוסקופ אופטי, אופיין מבנה מרטנזיטי (ראה תמונה). תאר מהלך של טיפול תרמי המבוצע לפלדה SAE 1040 לקבלת מבנה מרטנזיטי. הסבר בפירוט את מהלך הטיפול כולל הנימוקים לבחירת טמפרטורות הטיפול.

**תמונה מטלוגרפית אופיינית למבנה מרטנזיט**

א. הסבר מה מתארת דיאגרמת ברזל־פחמן (ראה נספח לשאלה 3). ציין את מיקומן (באמצעות C %) של ריאקציות (מעברים) בדיאגרמה: אוטקטית, ואוטקטואידית.

ב. עליך לבצע חיסום של פלדה SAE 4340 . היעזר בנספח של דיאגרמת ברזל־פחמן וקבע את טמפרטורת החיסום. הסבר מהי החוקיות לקביעת טמפרטורה זו.

ג. בבדיקת נגיפה על דגם שרפי (Charpy) העשוי מפלדה SAE 4340, לאחר חיסום בלבד, התקבלה תוצאה של 6 ג'אול. לאחר מכן בוצעה הרפיה לפלדה. איזה מבנה מטלוגרפי התקבל לאחר החיסום, ואיזה מבנה יהיה לאחר ההרפיה? האם ערך הנגיפה לאחר ההרפיה יהיה גבוה יותר או נמוך יותר? נמק את תשובתך.

**שאלה 31**

מהו המרכיב העיקרי בפלדה בעלת מבנה מרטנזיט, הקובע את הקשיות שלה? הסבר כיצד משפיעה עלייה בכמות של מרכיב זה על קשיות הפלדה?

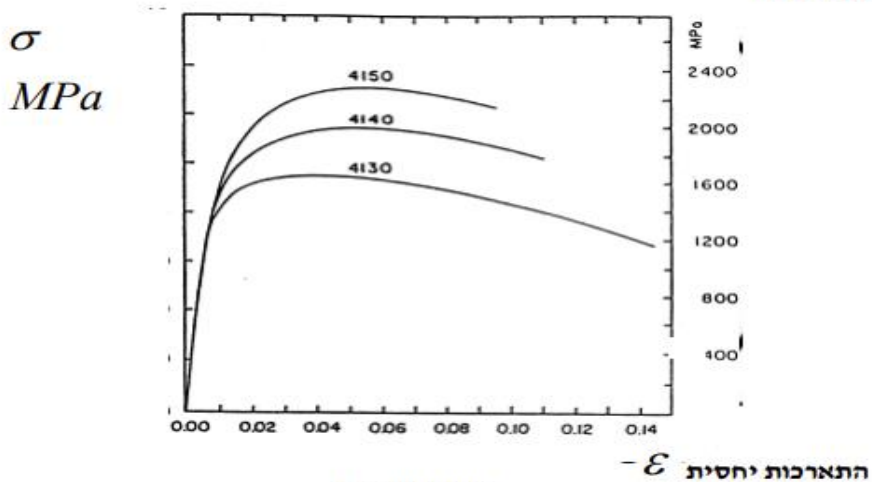
חיסום של סוגים שונים של פלדות יכול להתבצע בקצבי קירור שונים (מהיר, בינוני, איטי). ציין, לכל אחד מקצבי הקירור, באיזו סביבת קירור יש לבצע את החיסום: באוויר, במים או בשמן.

מהו שמו של המבנה הגבישי המתקבל בפלדות לאחר שהן עוברות חיסום? האם מבנה זה משיך או פריך?

## הרפיית פלדה. השפעת טמפרטורת ההרפיה על תכונות מכניות של פלדה.

### שאלה 32

שלוש פלדות (מסומנות לפי תקן SAE) נבדקות במכונת מתיחה לאחר טיפול תרמי:
חיסום ולאחר מכך הרפיה בטמפרטורה 500°C במשך שעה אחת.
דיאגרמות המתיחה של הפלדות הללו מוצגות באיור לשאלה 7.
**שימוש בדיאגרמות חובה!**




**איור לשאלה 7**

**<u>השתמשו בדיאגרמות וענו על השאלות הבאות:</u>**

**(5 נק')** **א.** מהי הפלדה בעלת החוזק הגבוה ביותר? **נמקו את תשובתכם.**

**(5 נק')** **ב.** מדוע הפלדה שקבעתם בסעיף **א'** היא בעלת חוזק הגבוה יותר מאשר שתי הפלדות האחרות?

**(5 נק')** **ג.** האם מודול האלסטיות של הפלדות הללו שונה? **נמקו את תשובתכם.**

**(2 נק')** **ד.** מהו המבנה המתקבל בפלדות הללו לאחר שנעשה טיפול תרמי?

**(4 נק')** **ה.** האם צורת הדיאגרמות משתנה עם עליית טמפרטורת ההרפיה עד 500°C (זמן ההרפיה לא משתנה)?
אם כן, עליך להסביר מהו השינוי. אם לא, עליך להסביר מהי הסיבה לכך.

## שאלה 33

בטיפול תרמי לפלדה SAE 1030 בוצע חיסום במים ולאחריו בוצעה הרפיה בטמפרטורה של 540 °C .

**א.** היעזר בדיאגרמת ברזל־פחמן שבנספח א' וקבע את טמפרטורת האוסטיניזציה שאליה חוממה הפלדה בשלב החיסום. הסבר את קביעתך.

**ב.** סרטט גרף סכמתי (טמפרטורה כתלות בזמן) המתאר את מהלך הטיפול התרמי הכולל את החיסום וההרפיה המתוארים בפתיח לשאלה. ציין על הגרף את טמפרטורת האוסטניזציה ואת טמפרטורת ההרפיה.

**ג.** התכונות המכניות שהתקבלו לאחר החיסום וההרפיה (540 °C) לא תאמו את הדרישות ההנדסיות, והוחלט לשנות את טמפרטורת ההרפיה ל־595 °C .
בטבלה שלהלן נתונים ערכים של תכונות הפלדה שהתקבלו משני הטיפולים.
עבור הטיפול השני (הרפיה בטמפרטורה של 595 °C), בחר ורשום במחברתך את הערך המתאים ביותר לכל תכונה, מבין שלושת הערכים המוצעים, ונמק את בחירתך.

| תכונות / טיפולים | צפיפות $\rho$ (g/cm$^3$) | קשיות בסקלת רוקוול B HRB | מודול יאנג E (GPa) | מעוות בשבר $\varepsilon$(%) | מאמץ כניעה $\sigma_y$(MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| אוסטניזציה + חיסום במים + הרפיה בטמפרטורה של 540 °C | 7.8 | 88 | 200 | 28 | 470 |
| אוסטניזציה + חיסום במים + הרפיה בטמפרטורה של 595 °C | 5.8<br>7.8<br>9.2 | 168<br>86<br>16 | 100<br>500<br>200 | 29<br>128<br>8 | 185<br>435<br>605 |

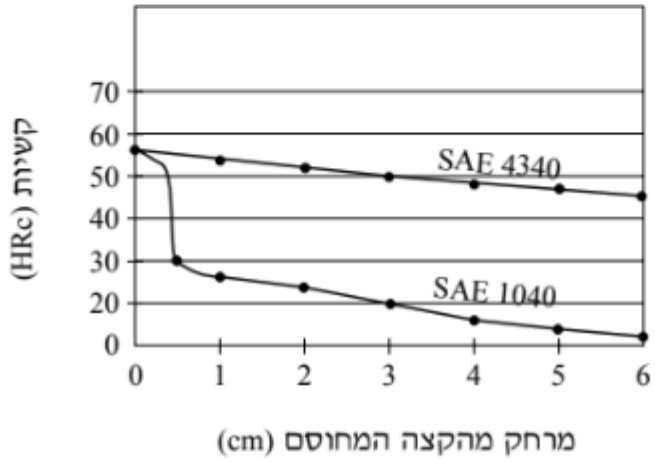
**כושר חיסום פלדה.**

**שאלה 34**

**א.** תאר בקצרה את המהלך של בדיקת ג'ומיני (Jominy). לווה את הסברך בציור סכמתי.

**ב.** תאר בקצרה את המהלך של בדיקת גרוסמן. לווה את הסברך בציור סכמתי.

**ג.** בדקו את כושר החיסום של שתי פלדות: SAE 1040 ו־SAE 4340 , בשיטת ג'ומיני; עקומות הקשיות שהתקבלו מוצגות באיור לשאלה 9.




**איור לשאלה 9**

באיזו מהפלדות שבאיור תבחר, אם הדרישה היא לקבל לאחר החיסום מוט בעל קשיות גבוהה ואחידה? נמק את תשובתך.

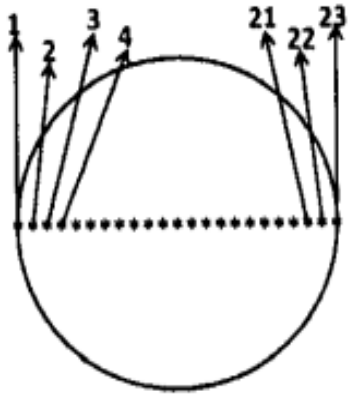
**ד.** מבצעים חיסום מים לשני מוטות שקוטרו של כל אחד מהם הוא 5 ס"מ. אחד המוטות עשוי מפלדה SAE 1040 , והשני — מפלדה SAE 4340 .
תהליך החיסום של שני המוטות — זהה.
סרטט על מערכת צירים אחת שתי עקומות, המתארות את הקשיות המתקבלת בכל אחד מהמוטות לאחר החיסום — כפונקציה של רדיוס המוט. (עקומת גרוסמן.)

**שאלה 35**

עליך לאפיין תכונות מכאניות (קשיות ונגיפה) של מוט פלדה SAE 3120 בקוטר 60 מ״מ לאחר ביצוע הטיפול התרמי הבא: חימום לטמפרטורה $830^{o}C$ (למשך זמן מספיק כך שכל המוט יהיה בטמפרטורה זו) ולאחר מכן חיסום במים.

**בטבלה שלהלן מוצגות תוצאות בדיקת קשיות שנערכו לאחר החיסום (ראה סרטוט):**

| נקודה | קשיות HRc | נקודה | קשיות HRc | נקודה | קשיות HRc |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 58 | 9 | 37 | 17 | 40 |
| 2 | 58 | 10 | 37 | 18 | 43 |
| 3 | 55 | 11 | 36 | 19 | 46 |
| 4 | 51 | 12 | 36 | 20 | 51 |
| 5 | 46 | 13 | 36 | 21 | 55 |
| 6 | 43 | 14 | 37 | 22 | 58 |
| 7 | 40 | 15 | 37 | 23 | 58 |
| 8 | 38 | 16 | 38 | | |




**סרטוט סכמאתי המציג 23 נקודות**
**לבדיקת הקשיות שנערכו על פני קוטר המוט**

בנוסף, נחתכו מהמוט 3 דגמי נגיפה תקניים לפי תקן ASTM-E-23. שני דגמי נגיפה מהיקף המוט ודגם אחד ממרכזו.

א. מחי השיטה לפיה בוצעו בדיקות הקשיות (קבע על סמך התוצאות המוצגות בטבלה), וסרטט את התוצאות על מערכת צירים של קשיות כתלות בקוטר המוט.

ב. מה צפויה להיות אנרגיית הנגיפה של כל אחד משלושת דגמי הנגיפה, כלומר, שני דגמים מההיקף ודגם אחד מהמרכז (קבע על סמך התוצאות שבטבלה). ציין את אנרגיית הנגיפה בסקלה יחסית, כלומר, אנרגיה ״גבוהה״ או אנרגיה ״נמוכה״. נמק תשובתך.

## שאלה 36

כדי לאפיין תכונות מכניות של מוט העשוי מפלדה SAE1040 , שקוטרו 25 mm, בוצעו הפעולות האלה:

1. חיסום במים מטמפרטורת האוסטיניזציה.
2. הרפיה בטמפרטורה של 540 °C .
3. בדיקת קשיות הפלדה לאורך הקוטר של חתך המוט.
התוצאות שהתקבלו מהבדיקה מוצגות בטבלה שלהלן:

| מיקום | קשיות HRc |
|---|---|
| משטח הפנים של המוט | 50 |
| בעומק של 6.25 mm משטח הפנים של המוט | 32 |
| בעומק של 12.5 mm משטח הפנים של המוט (מרכז המוט) | 28 |

נוסף על־כך, נבדקו התכונות המכניות של המוט לאחר ההרפיה, והתקבלו התוצאות המוצגות להלן:

| $\sigma_y$ (MPa) | $\varepsilon_y$ (%) | $\sigma_{UTS}$ (MPa) | $\varepsilon_{UTS}$ (%) | $\sigma_{Fracture}$ (MPa) | $\varepsilon_{Fracture}$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 541 | 0.25 | 743 | 15 | 640 | 23 |

**א.** היעזר בדיאגרמת ברזל־פחמן שבנספח ו' וקבע את טמפרטורת האוסטיניזציה שאליה חוממה הפלדה בטרם בוצע החיסום במים. הסבר את קביעתך.

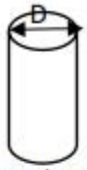
**ב.** סרטט גרף של מאמץ ($\sigma$) כתלות במעוות ($\varepsilon$) , בהתאם לנתוני התכונות של הדגם המוצגים בטבלה.

**ג.** חשב את מודול יאנג (E) של הפלדה ביחידות של MPa . הצג את מהלך החישוב.

**ד.** לאחר ההרפיה, מתקבלת קשיות אחידה לאורך הקוטר של חתך המוט. איזה מבין הערכים הנתונים להלן מתאים להיות ערך הקשיות הזו: 50 HRc, 32 HRc או 28 HRc ? נמק את תשובתך.

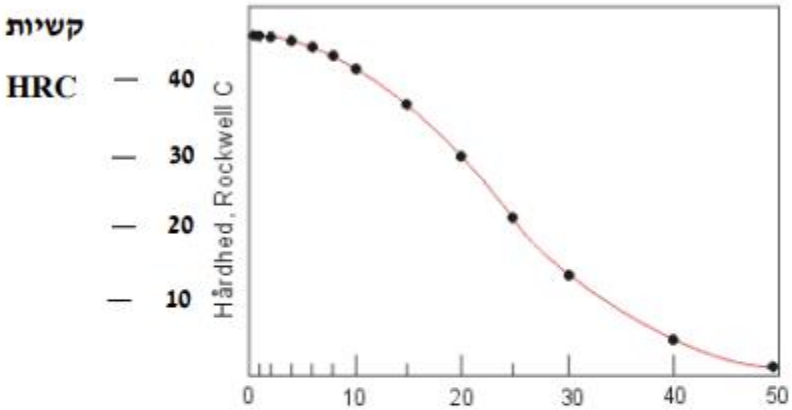
## שאלה 37

**א.** לצורך תכנון יש לקבוע את הקוטר המקסימלי של החלק המוצג באיור א' לשאלה 8. החלק אמור להתחסם לקשיות של לא פחות מ- HRC40 במרכזו.




**איור א' לשאלה 8**

לייצור החלק הציעו פלדה בעלת כושר החיסום המוצג באמצעות עקומת ג'ומיני (ראה איור ב' לשאלה 8).




**אורך של דגם ג'ומיני**

**איור ב' לשאלה 8**

קבעו את הקוטר המקסימלי של החלק על פי כושר חיסום הפלדה.

**ב.** סמנו ב- V "נכון" או "לא נכון" לגבי כל אחד מהיגדים הבאים:

| מספר | היגד | נכון | לא נכון |
|---|---|---|---|
| 1 | דיאגרמה "ברזל – פחמן" מתארת שינויים אלוטרופיים בסגסוגות ברזל. | | |
| 2 | טיפול תרמי מתאים רק לפלדות המכילות יותר מ- 0.3% פחמן. | | |
| 3 | מבנה מרטנסיט גמיש יותר מאשר כל מרכיב אחר של פלדה. | | |
| 4 | פלדה SAE1040 מתאימה לצימנוט. | | |
| 5 | טמפרטורת ההרפיה משפיעה על החוזק ועל הקשיות של פלדה לאחר חיסום. | | |
| 6 | ככל שהקוטר הקריטי לחיסום של הפלדה גדול יותר, כך קשה יותר לחסם את החלקים הגדולים העשויים מהפלדה. | | |
| 7 | טיפול תרמי מיועד רק להקשיית חומרים מתכתיים. | | |